

WŁAŚCIWOŚCI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE GLIN ZWAŁOWYCH Z PÓŁNOCNEJ CZĘŚCI WROCŁAWIA

THE GEOLOGICAL-ENGINEERING PROPERTIES OF THE TILLS FROM THE NORTHERN PART OF WROCLAW

MACIEJ HAWRYSZ¹, JOANNA STRÓŻYK¹

Abstrakt. W pracy przedstawiono wyniki badań geologiczno-inżynierskich gliny zwałowej z północnej części Wrocławia. Przeprowadzono badania podstawowych parametrów geotechnicznych: gęstości, wilgotności, granic Atterberga oraz parametrów mechanicznych gruntów: ścisłości i wytrzymałości na ścinanie. Badania wykazały, że gliny te występują zwykle w konsystencji bardzo zwartej i zwartej. Stan skonsolidowania glin określono jako normalny – NC. Na podstawie wartości wskaźnika ścisłości C_c oceniono, że grunty te charakteryzują się średnią ścisłością.

Słowa kluczowe: glina zwałowa, granice Atterberga, stan skonsolidowania, wskaźnik ścisłości, wytrzymałość na ścinanie.

Abstract. The results of geological-engineering tests on the tills from Wrocław area are presented in the paper. The basic geotechnical parameters, such as density, water content, Atterberg limits and mechanical parameters: compressibility and strength parameters have been determined in the research. The tests have shown that the consistency of the tills is usually very stiff or stiff. The consolidation state has been estimated as normally consolidated – NC. The value of compressibility index C_c allowed classifying the analyzed soils as of average compressibility.

Key words: tills, Atterberg limits, consolidation state, compressibility index, shear strength resistance.

WSTĘP

Właściwości geologiczno-inżynierskie masywu gruntowego w zdecydowany sposób wpływają na koszty posadawiania obiektów inżynierskich. Rozpoznanie geologiczno-inżynierskie terenu, pozwalające ustalić stopień złożoności warunków geotechnicznych podłoża, jest jednym z pierwszych etapów projektowania obiektu.

W pracy przedstawiono właściwości inżynierskie glin zwałowych z północnej części Wrocławia.

Pod względem geologicznym Wrocław leży na granicy dwóch dużych jednostek geologicznych: bloku przedsudeckiego i monokliny przedsudeckiej. Jednostki te oddziela

strefa uskoków środkowej Odry (Różycki, 1968). W obrębie Wrocławia pod względem budowy przypowierzchniowej wyróżnia się dwa obszary o odmiennych właściwościach geologiczno-inżynierskich (Różycki, 1968; Winnicka, 1988; Pawlak, 1997) – związaną z wysoczyzną morenową część południową, gdzie przeważają grunty drobnoziarniste, oraz związaną z doliną Odry część północną, gdzie dominują utwory gruboziarniste.

Analizowane w pracy grunty – gliny zwałowe – zalegają pod serią osadów rzecznych Odry. Ich genezę wiąże się ze stadiem maksymalnym kompleksu środkowopolskiego.

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Plac Grunwaldzki 9, 50-377 Wrocław; maciej.hawrysz@pwr.wroc.pl, joanna.strozyk@pwr.wroc.pl

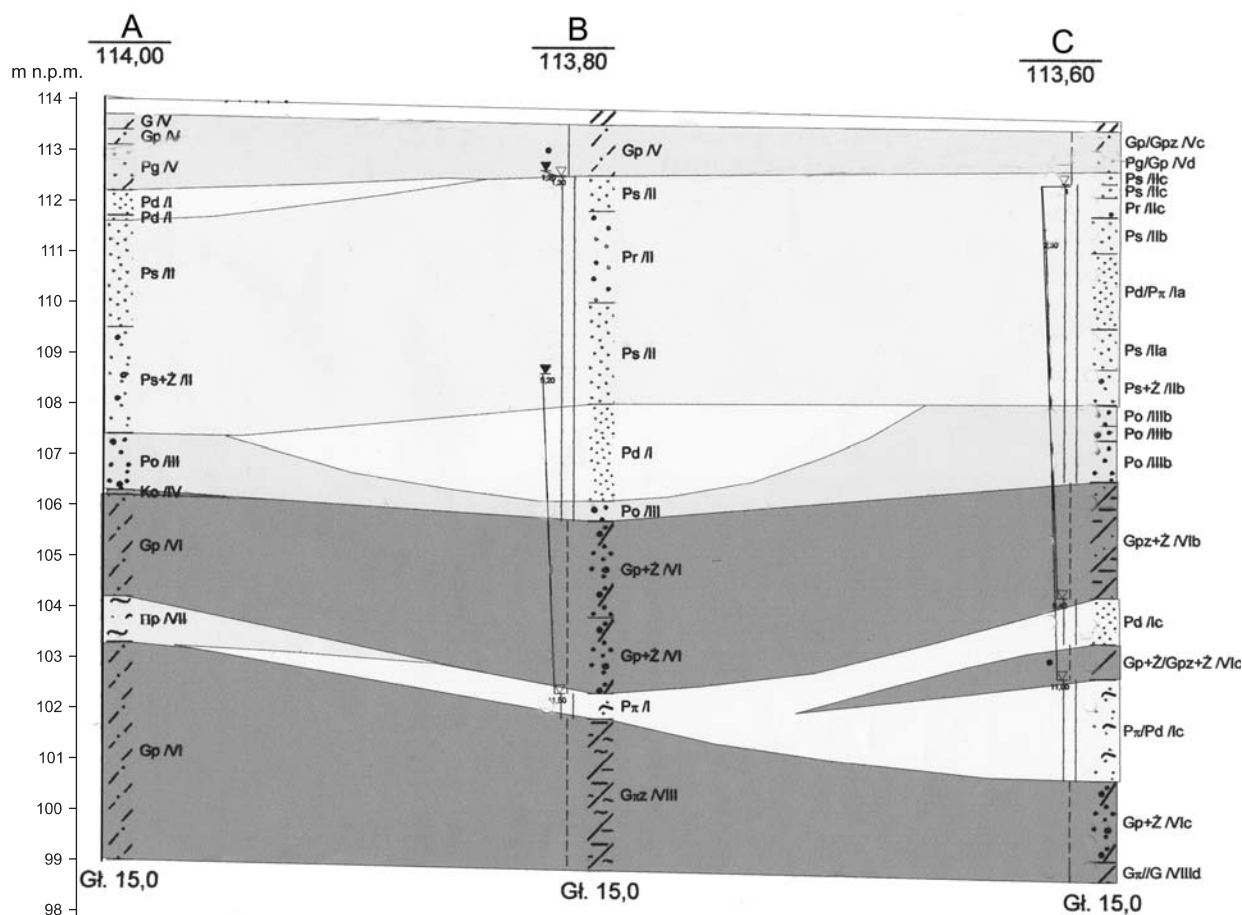


Fig. 1. Przekrój geologiczno-inżynierski przez omawiane utwory. Symbole gruntów wg PN-B-02480:1986, I–VIII – wydzielone warstwy geotechniczne

The geological-engineering cross-section by the described sediments. Soil symbols according to PN-B-02480:1986, I–VIII – geotechnical layers

Gliny zwałowe leżą na neogeńskich iłach (Winnicka, 1988). W czasie prowadzenia badań strop glin nawiercany był najczęściej na rzędnej 105–106 m n.p.m. (ok. 7–8 m p.p.t.), a spąg na rzędnej 89 m n.p.m. (ok. 25 m p.p.t.). Miąższość analizowanych utworów dochodzi do 18 m.

W północnej części Wrocławia gliny występują w formie dwóch warstw rozdzielonych wkładką piasków i piasków

pylastych lokalnie przechodzących w pyły (fig. 1). Miąższość warstwy rozdzielającej dochodzi do 5 m. W celu ustalenia podstawowych właściwości geologiczno-inżynierskich glin zwałowych wykorzystano wyniki badań próbek pobranych z otworów badawczych. Próbki zaklasyfikowano do 1. lub 3. klasy jakości (PN-EN 1997-2:2009 – Eurokod 7).

METODYKA BADAŃ

Wykonano badania podstawowych cech fizycznych: wilgotności w (metodą suszenia w temperaturze 105–110°C), gęstości objętościowej ρ (metodą pierścienia tnącego), gęstości właściwej szkieletu gruntowego ρ_s (w piknometrze), a także dwóch granic Atterberga – plastyczności w_p (metodą walczkowania) i płynności w_L (metodą Casagrande'a). Badania te stanowiły podstawę do określenia wyprowadzonych wartości wskaźników klasyfikacyjnych gruntów drobnoziarnistych: wskaźnika plastyczności I_p oraz wskaźnika konsystencji I_c i w konsekwencji do ustalenia spoistości i konsystencji badanych glin zwałowych (PN-EN ISO 14688:2002).

Badania składu frakcyjnego glin wykonano metodą areometryczną, a ich wyniki przedstawiono na trójkącie ISO w wersji podanej w załączniku krajowym normy, co pozwoliło określić nazwę gruntu zgodnie z Eurokodem 7.

Badania ścisłości prowadzono w standardowych edometrach, procedurą stopniowego przyrostu naprężenia IL zgodną ze specyfikacją techniczną (PKN CEN ISO/TS 17892:2009). Na tej podstawie wyznaczono wartość efektywnego ciśnienia prekonsolidacji σ'_p (Eurokod 7), które jest podstawowym parametrem pozwalającym ocenić stan skonsolidowania gruntu jako NC (normalnie skonsolidowany)

lub OC (prekonsolidowany). Ciśnienie prekonsolidacji σ'_p określano metodą Casagrande'a (Lambe, Whitman, 1977). Z badania edometrycznego ustalono również parametry umożliwiające scharakteryzowanie odkształcalności glin – moduły ścisłości edometrycznej E_{oed} definiowane jako (PKN CEN ISO/TS 17892:2009):

$$E_{oed} = \Delta\sigma/\varepsilon$$

gdzie:

$\Delta\sigma$ – przyrost efektywnego naprężenia pionowego,

ε – odkształcenie odpowiadające $\Delta\sigma$,

oraz wskaźniki ścisłości C_c i odprężenia C_s obliczono ze wzoru (PKN CEN ISO/TS 17892:2009):

$$C_c, C_s = -\Delta e / \log \Delta \sigma$$

gdzie:

Δe – zmiana wskaźnika porowatości,

$\log \Delta \sigma$ – logarytm zmiany efektywnego naprężenia pionowego.

Badania wytrzymałości prowadzono w aparacie trójosiowego ściskania metodą TXCIU ze wstępną konsolidacją i bez odpływu wody w czasie ścinania (Head, 1992). Procedura odpowiadała tej opisaną w specyfikacji technicznej (PKN-CEN ISO/TS 17892:2009). Badania pozwoliły wyznaczyć wartości parametrów wytrzymałościowych gruntu: wartości całkowite i efektywne spójności: c , c' oraz kąta tarcia wewnętrznego: ϕ i ϕ' (Lambe, Whitman, 1977).

WYNIKI BADAŃ

BADANIA GRANULOMETRYCZNE

Analiza składu granulometrycznego badanych próbek wykazała, że zgodnie z normą PN-EN ISO 14688:2002 gliny zwałowe zaliczyć należy do glin ilastych saCl (7 próbek) oraz iłów piaszczystych saCl (6 próbek). Jedną z próbek zaklasyfikowano jako piasek ilasty clSa. Nie zauważono korelacji między składem frakcyjnym glin a głębokością ich zalegania. Wyniki badań przedstawiono na trójkącie klasyfikacyjnym ISO (fig. 2).

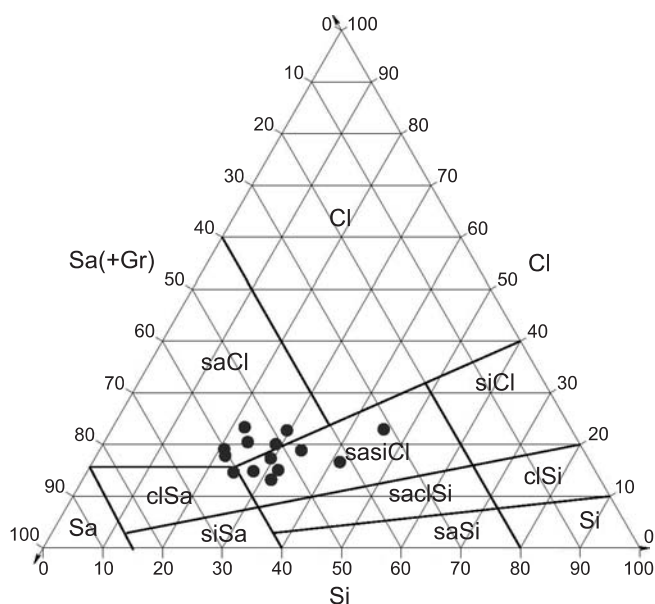


Fig. 2. Trójkąt ISO wg załącznika krajowego. Punktami zaznaczono analizowane gliny (PN-EN ISO 14688:2002)

The ISO diagram. The points represent the analyzed sandy clays (PN-EN ISO 14688:2002)

BADANIA PODSTAWOWYCH CECH FIZYCZNYCH

Wilgotność naturalna glin w zmieniała się w przedziale od 9,3 do 16,5%. Lokalne jej podwyższenie stwierdzono na granicach z przewarstwieniem piaszczystym w obrębie glin – na głębokości ok. 9–10 m p.p.t. Średnia wartość wilgotności dla warstwy płytszej wynosi 13,2%, a dla warstwy zalegającej głębiej – 12,3%

Pomierzona gęstość objętościowa ρ zmieniała się od 2,05 do 2,21 g/cm³. Średnio wynosiła ona 2,13 g/cm³ (2,13 g/cm³ dla warstwy płytszej i 2,12 g/cm³ dla warstwy głębszej). Nie zauważono zależności pomiędzy głębokością zalegania gliny a gęstością ρ . Wyniki badań podstawowych parametrów gruntu wybranych próbek przedstawiono w tabeli 1.

BADANIA GRANIC ATTERBERGA

W trakcie badań wyznaczano dwie z granic Atterberga: granicę plastyczności w_p oraz granicę płynności w_L . Granica plastyczności w_p glin zwałowych wahała się w przedziale od 8,0 do 15,1%. Jej zmienność wraz z głębokością przedstawiono na figurze 3. Największą wartość w_p odnotowano na głębokości 16 m p.p.t. Średnia wartość granicy w_p badanej gliny wynosi 11,4%, przy czym dla warstwy płytszej jest to 10,8%, a dla głębszej 11,8%.

Wartość granicy płynności w_L zmienia się od 23,8 do 35,0%. Jej zmienność wraz z głębokością przedstawiono na figurze 3. Jak można zauważyć, zbiór oznaczeń w_L charakteryzuje się znacznie większym rozrzutem niż zbiór wartości granicy w_p . Największą wartość granicy w_L stwierdzono na głębokości 16 m p.p.t. – dla tej samej próbki, dla której wystąpiła również największa wartość granicy w_p . Średnia wartość granicy płynności w_L glin zwałowych wynosi 28,7% (średnio 28,5% dla warstwy górnej i 28,8% dla warstwy dolnej).

Tabela 1

Wyniki badań podstawowych parametrów gruntu wybranych próbek

The basic soil parameters of the selected samples

Głębokość h [m p.p.t.]	Gęstość objętościowa ρ [g/cm ³]	Wilgotność w [%]	Granica plastyczności w_p [%]	Granica płynności w_L [%]	Wskaźnik plastyczności I_p [-]	Wskaźnik konsystencji I_c [-]
8,7	2,11	12,3	10,9	27,7	16,8	0,92
9,0	2,09	10,5	11,6	30,2	18,6	1,06
9,4	2,11	16,5	12,0	27,8	15,8	0,72
10,5	2,21	13,3	10,5	26,0	15,5	0,82
20,0	2,13	15,5	12,4	25,2	12,8	0,76
20,5	2,11	10,8	11,6	29,9	18,3	1,04

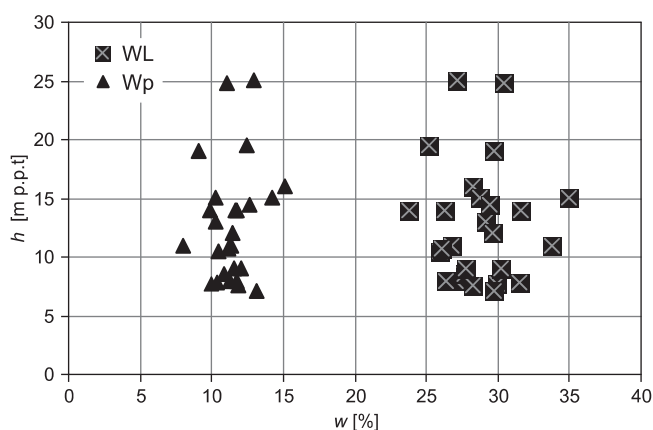


Fig. 3. Zależność między granicami Atterberga a głębokością zalegania gliny zwalowej

The relationship between Atterberg limits of tills and the depth of their occurrence

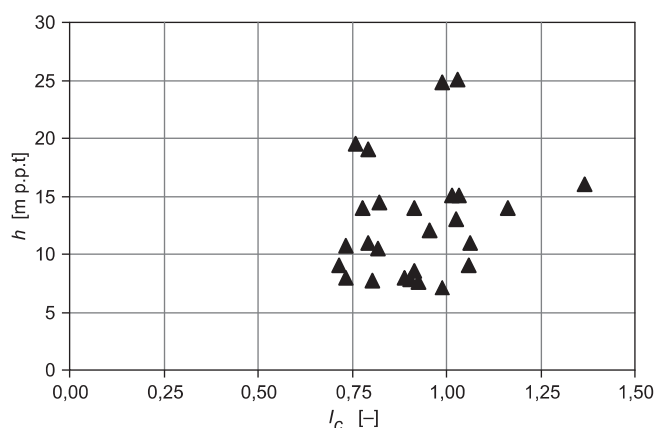


Fig. 4. Zależność między wskaźnikiem konsystencji a głębokością zalegania gliny zwalowej

The relationship between consistency index of tills and the depth of their occurrence

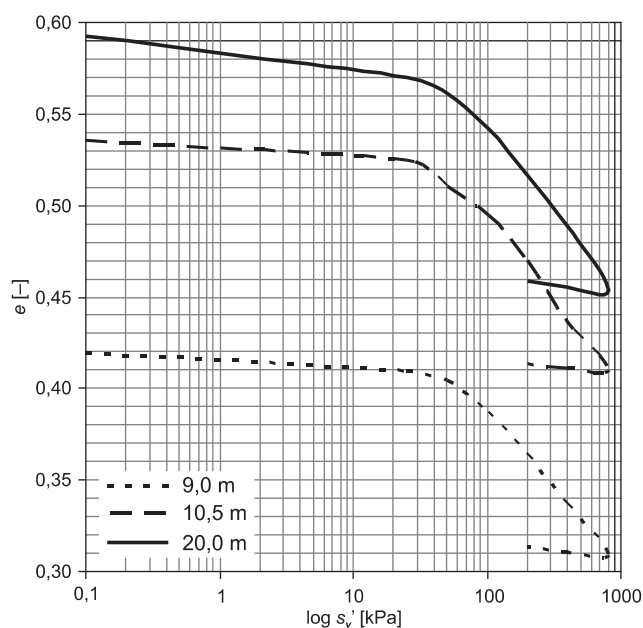


Fig. 5. Krzywe edometryczne próbek gliny zwalowej pobranych z głębokości 9,0; 10,5 i 20,0 m p.p.t.

The oedometric curves of tested tills from depths: 3,0; 10,5 and 20,0 m below terrain level

Zmienność wskaźnika konsystencji I_c glin wraz z głębokością poboru próbki przedstawiono na figurze 4. Wartości I_c obserwowane dla glin zwalowych mieszczą się w przedziale 0,72–1,37 i odpowiadają konsystencji bardzo zwartej, zwartej lub twardoplastycznej. Konsystencję twardoplastyczną stwierdzono tylko dla trzech próbek pobranych z głębokości 7,9; 9,0 i 10,7 m p.p.t. Należy zauważyć, że konsystencja glin jest zwykle zwarta (15 próbek) lub bardzo zwarta (8 próbek). Nie odnotowano zależności pomiędzy konsystencją glin a głębokością ich zalegania – zmiany I_c związane są z obecnością przepuszczalnych (piaszczystych) przewarstwień w obrębie glin.

BADANIA ŚCIŚLIWOŚCI

Na podstawie badań edometrycznych (fig. 5) wyznaczono moduły ściśliwości E_{oed} , wskaźniki ściśliwości C_c i odprężenia C_s , oraz ustalono stan skonsolidowania gruntu.

Stan skonsolidowania glin zwalowych określono przez wyznaczenie ciśnienia prekonsolidacji σ'_p i porównanie go z efektywnym pionowym naprężeniem *in situ* σ'_{vo} . Ciśnienia prekonsolidacji σ'_p ustalono metodą Casagrande'a i zestawiono w tabeli 2. W przypadku trzech próbek wartości σ'_p

Tabela 2

Wyniki badań edometrycznych

The oedometric test results

Głębokość h [m p.p.t.]	Rodzaj gruntu wg PN-EN ISO 14688:2002	Konsystencja wg PN-EN ISO 14688:2002	Gęstość objętościowa ρ [g/cm ³]	Wilgotność w [%]	Wskaźnik ścisłości C_c [-]	Wskaźnik odprężenia C_s [-]	Moduł ścisłości E_{oed} [MPa] (dla obciążenia 0,2–0,4 MPa)	Moduł ścisłości E_{oed} [MPa] (dla odciążenia 0,4–0,2 MPa)	Ciśnienie prekonsolidacji σ'_p [kPa]	Stan skonsolidowania
9,0	saCl+Gr	bardzo zwarta	2,10	10,8	0,091	0,009	10,0	97,0	180	NC
10,5	saCl	zwarta	2,01	15,2	0,09	0,009	8,8	99,3	190	NC
20,0	saCl	zwarta	1,87	11,11	0,12	0,011	10,8	76,8	260	NC

Tabela 3

Wyniki badań TXCIU

The TXCIU test results

Głębokość h [m p.p.t.]	Rodzaj gruntu wg PN-EN ISO 14688:2002	Konsystencja wg PN-EN ISO 14688:2002	Gęstość objętościowa ρ [g/cm ³]	Wilgotność w [%]	Całkowity kąt tarcia wewnętrznego ϕ [°]	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego ϕ' [°]	Spójność całkowita c [kPa]	Spójność efektywna c' [kPa]
8,7	saCl+Gr	zwarta	2,24	12,4	31,3	33,0	0,0	0,0
9,0	saCl+Gr	bardzo zwarta	2,30	11,9	25,7	29,2	31,6	23,9
9,4	clSa+Gr	zwarta	2,27	12,7	22,7	26,7	37,5	35,2
10,5	sasiCl	zwarta	2,29	22,6	23,2	24,8	27,2	25,5
20,5	saCl+Gr	bardzo zwarta	2,30	13,0	22,7	21,1	29,2	32,1

wyniosły od 180 do 260 kPa, co po porównaniu z wartościami naprężeń *in situ* kwalifikuje badane gliny zwałowe do grupy gruntów normalnie skonsolidowanych NC, dla których $\sigma'_p \cong \sigma'_{vo}$ (Mitchell, Soga, 2005; PN-EN 1997:2009).

Wartości edometrycznych modułów ścisłości E_{oed} uzyskane z badań (tab. 2) znacznie odbiegają od wartości zamieszczonych w normie PN-B-03020:1981. Na zaniżenie wartości E_{oed} znacząco wpływa nieuniknione podczas pobierania prób naruszenie struktury gruntu. Należy spodziewać się, że im bardziej zwarty i silniej skonsolidowany grunt (np. pobierany z dużej głębokości), tym większe nastąpi naruszenie jego struktury (por. Burland, 1990; Head, 1992; Mitchell, Soga, 2005).

Wyznaczone z badań edometrycznych wartości C_c wynoszą od 0,09 do 0,12, a wartości C_s – od 0,009 do 0,011. Przyjmuje się, że wartości C_c w przedziale 0,075–0,15 odpowiadają gruntom o średnim wskaźniku ścisłości (Bell, 2000).

BADANIA W APARACIE TRÓJOSIOWEGO ŚCISKANIA

Ocenę wytrzymałości glin zwałowych na ścinanie wykonano na podstawie wyników badań przeprowadzonych w aparacie trójosiowego ściskania metodą TXCIU. W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań pięciu próbek gruntu pobranych z głębokości od 8,7 do 20,5 m p.p.t. Na figurze 6 przedstawiono linie stanu granicznego według hipotezy Coulomba-Mohra. W czterech spośród badanych prób zarówno spój-

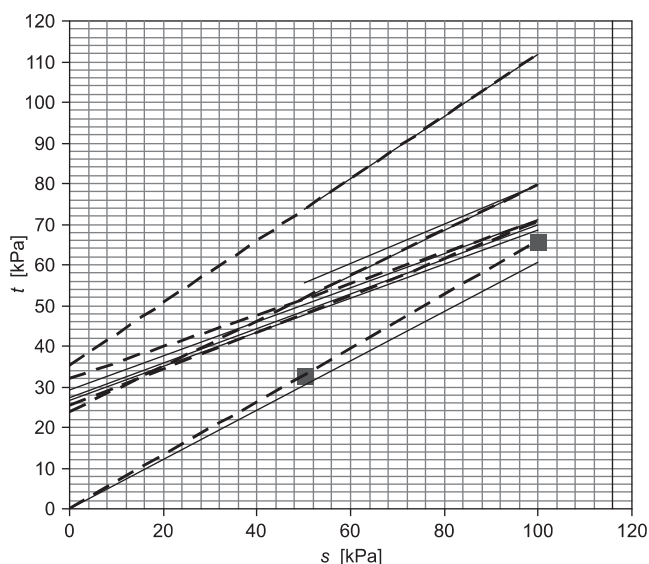


Fig. 6. Linie stanu granicznego (linia ciągła – parametry całkowite, linia przerywana – parametry efektywne)

Limit state lines (continuous line – total soil shear parameters, dashed line – effective soil shear parameters)

ność całkowita c , jak i efektywna c' są większe od zera i wynoszą od 27,2 do 37,5 kPa (spójność całkowita c) oraz od 23,9 do 35,2 kPa (spójność efektywna c'). Dla tych samych próbek wartość kąta tarcia wewnętrznego zmienia się w przedziale od 22,7 do 25,7° dla kąta całkowitego ϕ i analogicznie od 21,1 do 29,2° dla kąta efektywnego ϕ' .

W jednej z próbek, pobranej z głębokości 8,7 m p.p.t., duża domieszka frakcji żwirowej występująca w strefie zniszczenia gruntu zdominowała reakcję na pojawiające się naprężenia styczne. Wyznaczone w badaniach wartości spójności całkowitej i efektywnej wyniosły dla tej próby 0 kPa, a całkowity i efektywny kąt tarcia wewnętrznego – odpowiednio $31,3^\circ$ i $33,0^\circ$, i były największe spośród wszystkich pięciu próbek.

W przypadku próbki pobranej z głębokości 20,5 m p.p.t. wyniki badań wytrzymałościowych odbiegają od wartości

spodziewanych: $\phi' < \phi' c' > c$ i wydają się błędne. Zależność pomiędzy parametrami efektywnymi i całkowitymi wytrzymałości dla tej próbki jest wynikiem niejednorodności gruntu charakteryzującego się licznymi przewarstwieniami, które dla poszczególnych kształtek poddawanych badaniu mogły być zlokalizowane w powierzchni zniszczenia lub poza nią.

Analiza wartości parametrów wytrzymałościowych nie wskazuje na korelację pomiędzy parametrami wytrzymałości gruntu a głębokością zalegania warstwy.

LITERATURA

- BELL F.G., 2000 — Engineering properties of soils and rocks. Blackwell Sc. Ltd., London.
- BURLAND J.B., 1990 — On the compressibility and shear strength of natural clays. *Geotechnique*, **40**, 3: 329–378.
- HEAD K.H., 1992 — Manual of soil laboratory testing. Vol. 2. John Wiley & Sons, New York: 942–945.
- LAMBE T.W., WHITMANN R.V., 1977 — Mechanika gruntów. Arkady, Warszawa.
- MITCHELL J.K., SOGA K., 2005 — Fundamental of soil behavior. John Willey & Sons, London.
- PAWLAK W. (red), 1997 — Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego. Uniw. Wrocław, Wrocław.
- PKN-CEN ISO/TS 17892:2009 — Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów.
- PN-B-02480:1986 — Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-03020:1981 — Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 1997-2:2009 — Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2. Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- PN-EN ISO 14688:2002 — Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów.
- RÓŻYCKI M., 1968 — Budowa geologiczna okolic Wrocławia. *Biul. Inst. Geol.*, **214**: 181–218.
- WINNICKA G., 1988 — Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Wrocław. Wyd. Geol., Warszawa.